

УДК 621.396

В.М. Васильєв, канд. техн. наук

ОЦІНКА ЙМОВІРНОСТІ КОНФЛІКТУ З УРАХУВАННЯМ ДИНАМІКИ І КОРЕЛЯЦІЇ ПРОЦЕСУ ПОЛЬОТУ ЛІТАКІВ

Інститут інформаційно-діагностичних систем НАУ, e-mail: v_vasylyev@ukr.net

Запропоновано ймовірнісний метод виявлення конфлікту для систем попередження зіткнень літаків, що дозволяє враховувати особливості стохастичної динаміки процесу польоту і кореляцію траєкторії польоту в часі. Розглянуто загальний підхід до вирішення задачі оцінки ймовірності конфлікту і показано її аналітичний розв'язок на конкретному прикладі.

Вступ

На сьогодні велика увага приділяється розробці нових технічних засобів і методів виявлення і запобігання конфліктних ситуацій, покликаних підвищити надійність і ефективність прийняття рішення під час керування повітряним рухом.

Задача системи попередження конфліктних ситуацій полягає у виявленні тенденції розвитку конфліктної ситуації, видачі повідомлення про виявлений конфлікт і рекомендацій щодо його усунення.

Останні досягнення в області систем спостереження, зв'язку й обчислювальної техніки дозволяють використовувати для вирішення задачі виявлення і попередження конфліктів усе більш складні математичні методи й алгоритми.

Запропонований метод виявлення й оцінки ймовірності конфліктної ситуації дозволяє враховувати особливості стохастичної динаміки процесу польоту літаків і кореляцію траєкторії польоту в часі.

Задача оцінки ймовірності виникнення конфліктної ситуації

Основною проблемою при розробці систем запобігання конфліктної ситуації є достовірне прогнозування повітряної обстановки, що залежить, у першу чергу, від ступеня адекватності прийнятої математичної моделі руху літака до реального процесу розвитку повітряного руху.

У загальному випадку процес польоту літака розглядається як стохастичний через велику кількість факторів випадкового характеру, що впливають на рух літака.

Якщо розглядати відносно положення літаків в просторі як випадковий векторний процес $\vec{D}(t)$, то ймовірність конфлікту визначимо як ймовірність того, що відстань між літаками стане менше мінімально припустимого значення d_{\min} :

$$P_c = P\{\|\vec{D}(t)\| < d_{\min}\}, \quad (1)$$

де $\|\bullet\|$ позначає евклідову норму в \mathbb{R}^3 .

При прогнозуванні випадкового процесу $\vec{D}(t)$ основними факторами, що впливають на невизначеність майбутнього положення літака, вважаються помилки врахування вітру і його мінливість, навігаційні похибки, помилки пілотування і системи керування польотом, непередбачене перепланування маршруту польоту.

Особливо треба відмітити невизначеність майбутнього положення літака через помилки моделювання процесу його польоту.

Причиною помилки може бути невідповідність прийнятих припущень реальним умовам польоту або невизначеність значень параметрів прийнятої моделі. У деяких випадках математична модель не може бути вирішена аналітично. Тоді розв'язок знаходиться чисельним наближенням, помилка якого також вносить свою частку невизначеності.

Одним із широковідомих методів оцінки ймовірності конфлікту, що знайшов практичну реалізацію в системі управління повітряним рухом, є метод, запропонований у праці [1]. Вважається, що випадкові відхилення від планованої траєкторії польоту в бічному і подовжньому напрямках руху підкоряються нормальному закону розподілу і не залежать один від одного.

Невизначеність положення в бічному напрямку руху обумовлюється переважно навігаційними похибками. При цьому середньоквадратичне значення відхилення береться постійним.

Для подовжнього напрямку руху невизначеність положення виникає через вплив вітру на швидкість польоту, тому середньоквадратичне значення відхилення визначається лінійно наростаючим.

У працях [2; 3] розглянуто гіпотезу про моделювання відхилень від заданих траєкторних параметрів випадковими вінерівськими процесами.

Запропонований метод оцінки ймовірності конфлікту дає можливість при прогнозуванні невизначеності майбутнього положення літаків враховувати динамічні характеристики процесу польоту і кореляцію траєкторії руху в часі.

Урахування динаміки польоту при оцінці ймовірності конфліктної ситуації

Під час керування повітряним рухом оцінка взаємного положення літаків провадиться в єдиній системі координат. Візьмемо за таку прямокутну систему координат Osz_y , осі O_s і O_z якої розташовані в горизонтальній площині, вісь O_z спрямована на північ, а вісь O_y – вертикально вгору (рис. 1).

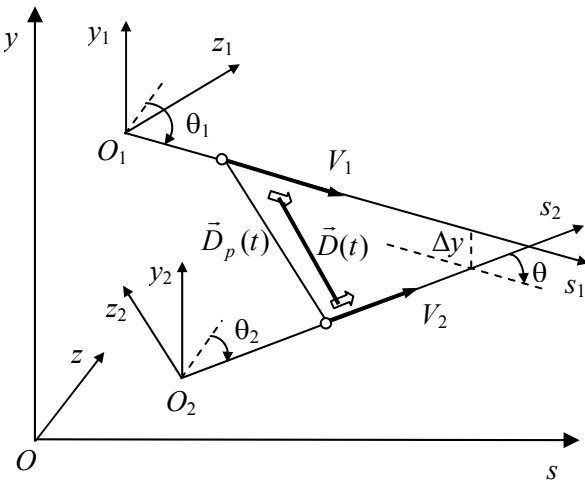


Рис. 1. Опис руху літаків для оцінки ймовірності конфлікту

Для того, щоб максимально врахувати особливості навігації, пілотування і керування, опис руху для кожного j -го літака будемо виконувати в прямокутній системі координат $O_j s_j z_j y_j$ (рис. 1), зв'язаній з планованим маршрутом польоту так, що осі $O_j s_j$ і $O_j z_j$ розташовані в горизонтальній площині. Вісь $O_j s_j$ збігається з лінією заданого шляху так, що кут θ_j є заданим шляховим кутом. Вісь $O_j z_j$ перпендикулярна до осі $O_j s_j$. Третя вісь $O_j y_j$ спрямована вертикально вгору. Вибір такої системи координат дозволяє описувати рух літака у відхиленнях від програмної траєкторії польоту.

На рис. 1 кружками показано планове положення двох літаків для фіксованого моменту часу t , так що довжина лінії, яка з'єднує ці кружки, відповідає довжині планованого вектора відстані між літаками $\vec{D}_p(t)$ в розрахунковий час t . На рис. 1 показано також правдиве положення літаків для цього самого моменту часу, при якому відстань між ними визначається довжиною вектора $\vec{D}(t)$. Різниця запланованих висот польоту позначена Δy .

Модель процесу відхилення літака від запланованої траєкторії запишемо, ґрунтуючись на таких гіпотетичних припущеннях:

- рух одного літака не залежить від іншого;
- для кожного літака рух у напрямках s, z, y не залежить один від одного.

Для кожного літака визначається система динамічних моделей, що описує його відхилення відповідно в подовжньому, бічному і вертикальному напрямках:

$$\begin{aligned}\frac{d\vec{S}}{dt} &= f(\vec{S}, t) + G_s w_s; \\ \frac{d\vec{Z}}{dt} &= f(\vec{Z}, t) + G_z w_z; \\ \frac{d\vec{Y}}{dt} &= f(\vec{Y}, t) + G_y w_y,\end{aligned}\quad (2)$$

де $\vec{S}, \vec{Z}, \vec{Y}$ – вектори станів, кожний з яких включає відхилення положення, швидкості по відповідній координаті s, z, y ; G_s, G_z, G_y – матриці; w_s, w_z, w_y – гауссівські процеси типу “білий шум” з нульовими математичними сподіваннями й одиничними інтенсивностями, що моделюють випадкові збурення процесу польоту.

Динамічну модель (2) можна записати в компактній формі:

$$\begin{bmatrix} \vec{S} \\ \vec{Z} \\ \vec{Y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_s & 0 & 0 \\ 0 & F_z & 0 \\ 0 & 0 & F_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{S} \\ \vec{Z} \\ \vec{Y} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} G_s & 0 & 0 \\ 0 & G_z & 0 \\ 0 & 0 & G_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_s \\ w_z \\ w_y \end{bmatrix},$$

$$\text{або } \vec{X} = F\vec{X} + G\vec{W}, \quad (3)$$

$$\text{де } \vec{X} = \begin{bmatrix} \vec{S}^T & \vec{Z}^T & \vec{Y}^T \end{bmatrix}^T; F = \text{diag}[F_s \quad F_z \quad F_y]; \\ \vec{W} = \begin{bmatrix} w_s & w_z & w_y \end{bmatrix}^T; G = \text{diag}[G_s \quad G_z \quad G_y].$$

Оскільки \vec{X} є спільним гауссівським процесом, він цілком характеризується вектором математичного сподівання $\vec{M} = E\{\vec{X}\}$ і коваріаційною матрицею

$$P(t) = E\{(\vec{X}(t) - \vec{M}(t))(\vec{X}(t) - \vec{M}(t))^T\}.$$

Симетрична позитивно визначена коваріаційна матриця $P(t)$ задовольняє матричному диференціальному рівнянню

$$\frac{dP(t)}{dt} = FP(t) + P(t)F^T + GG^T, \quad (4)$$

при $P(0) = P_0$.

Для усталеного стану, коли $\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{dP(t)}{dt} = 0$, матриця $P_\infty = P(\infty)$ є симетричною позитивно

визначеною матрицею і може бути отримана в результаті розв'язання алгебричного рівняння Ріккати

$$FP_{\infty} + P_{\infty}F^T + GG^T = 0.$$

Вирішуючи рівняння Ріккати, одержуємо

$$P_{\infty} = \text{diag}[P_s \quad P_z \quad P_y], \quad (5)$$

де P_s, P_z, P_y – матриці коваріацій складових вектора станів для координат s, z, y .

Визначимо характеристики векторної випадкової величини відносного положення літаків.

Незалежно від того, яка модель із системи (2) використовується, перша компонента вектора станів являє собою відповідну координату положення літака s, z, y .

Об'єднуючи ці компоненти, складемо вектори, що визначають положення літаків:

– для першого літака вектор

$$\bar{X}_1 = [s_1 \quad z_1 \quad y_1]^T;$$

– для другого літака вектор

$$\bar{X}_2 = [s_2 \quad z_2 \quad y_2]^T.$$

Перші компоненти матриць коваріацій P_s, P_z, P_y (5) – це дисперсії відхилень відповідно в подовжньому, бічному і вертикальному напрямках. Об'єднуючи ці компоненти, складемо діагональні матриці, що визначають дисперсії відхилення першого P_1 і другого P_2 літаків.

Приведемо положення літаків до єдиної системи координат. Для визначеності зведемо математичний опис руху другого літака до системи координат, в якій описується рух першого літака.

Для цього необхідно повернути систему координат $O_2s_2z_2y_2$ у горизонтальній площині на кут $\theta = \theta_1 - \theta_2$ і сполучити початок координат O_2 з O_1 . У результаті одержимо вектор положення \bar{X}'_2 другого літака в системі координат $O_1s_1z_1y_1$:

$$\bar{X}'_2 = R'\bar{X}_2 + \bar{\Delta}, \quad (6)$$

де $R' = \begin{bmatrix} R_{\theta} & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ – блокова матриця; R_{θ} – матриця напрямних косинусів:

$$R_{\theta} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}; \quad (7)$$

$\bar{\Delta}$ – вектор зсуву початку координат системи $O_2s_2z_2y_2$ відносно початку координат $O_1s_1z_1y_1$.

Визначимо процес відносного положення між літаками в системі координат $O_1s_1z_1y_1$ як

$$\bar{D}(t) = \bar{X}'_2(t) - \bar{X}_1(t) = [s'_2 - s_1, \quad z'_2 - z_1, \quad y'_2 - y_1]^T.$$

Визначимо характеристики цього процесу

$$\begin{aligned} \bar{M}_d(t) &= E\{\bar{D}(t)\} = E\{\bar{X}'_2(t)\} - E\{\bar{X}_1(t)\} = \\ &= \bar{M}'_2(t) - \bar{M}_1(t), \end{aligned} \quad (8)$$

де $M'_2 = E\{\bar{X}'_2\} = E\{R'\bar{X}_2 + \bar{\Delta}\} = R'M_2 + \bar{\Delta}$;

$$P_d(t) = E\{(\bar{D}(t) - \bar{M}_d(t))(\bar{D}(t) - \bar{M}_d(t))^T\}.$$

Оскільки рух літаків незалежний один від одного, тоді

$$\begin{aligned} P_d(t) &= E\{(\bar{X}'_2(t) - \bar{M}'_2(t))(\bar{X}'_2(t) - \bar{M}'_2(t))^T\} + \\ &+ E\{(\bar{X}_1(t) - \bar{M}_1(t))(\bar{X}_1(t) - \bar{M}_1(t))^T\} = P'_2(t) + P_1(t). \end{aligned}$$

З огляду на виконаний поворот системи координат $O_2s_2z_2y_2$, одержимо

$$P_d(t) = R'P_2(t)R'^T + P_1(t), \quad (9)$$

де $P_2(t) = E\{(\bar{X}_2(t) - \bar{M}_2(t))(\bar{X}_2(t) - \bar{M}_2(t))^T\}$.

Матриці P_1 і P_2 – діагональні. Компонентами матриць є дисперсії відхилень відповідно в подовжньому, бічному і вертикальному положеннях першого і другого літаків. У свою чергу, ці компоненти є першими елементами матриць коваріацій P_s, P_z, P_y розв'язку рівняння Ріккати (4).

Спільний розподіл n компонентів положення для процесу відносного положення літаків для фіксованого моменту часу дається виразом

$$p(\bar{D}) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^n |P_d|}} e^{-\frac{1}{2}(\bar{D} - \bar{M}_d)^T P_d^{-1} (\bar{D} - \bar{M}_d)}.$$

Отримані дані є апіорною інформацією для оцінки ймовірності конфлікту.

Оцінка ймовірності конфлікту

Після виконання зазначених вище підготовчих процедур прогнозу невизначеності положення літаків розраховується оцінка ймовірності конфлікту. Покажемо розв'язання задачі за умови польоту літаків на одній висоті (рис. 2).

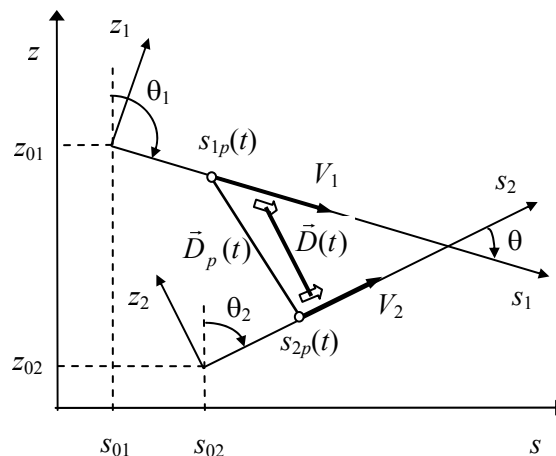


Рис. 2. Опис руху літаків для оцінки ймовірності конфлікту при польоті на одній висоті

У цьому випадку для кожного літака вектор положення складається з двох компонентів $\bar{X} = [s \ z]^T$. При зведенні вектора положення другого літака до системи координат першого літака вектор зсувів у виразі (6) дорівнює

$$\bar{\Delta} = R_\theta \Delta \bar{X},$$

де R_θ – матриця (7) повороту на кут $\theta = \theta_1 - 90^\circ$;

$$\Delta \bar{X} = [\Delta s \ \Delta z]^T; \Delta s = s_{02} - s_{01}; \Delta z = z_{02} - z_{01}.$$

Математичне сподівання відносного положення літаків (8) у цьому випадку визначається з виразу

$$\bar{M}_d = (R_\theta \bar{M}_2 + \bar{\Delta}) - \bar{M}_1, \quad (10)$$

де \bar{M}_1, \bar{M}_2 – планові положення літаків у своїх (власних) системах координат. Другі елементи цих векторів дорівнюють нулю згідно з планом польоту, тобто

$$\bar{M}_1(t) = \begin{bmatrix} s_{1p}(t) \\ 0 \end{bmatrix}; \bar{M}_2(t) = \begin{bmatrix} s_{2p}(t) \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Матриця коваріацій (9) для відносного положення літаків у горизонтальній площині має вигляд

$$P_d(t) = P_2'(t) + P_1(t) = R_\theta P_2(t) R_\theta^T + P_1(t), \quad (11)$$

де P_1 і P_2 – діагональні матриці, компоненти яких визначаються в результаті розв'язання рівняння Ріккати (4) для дисперсій відхилень по координатах s_j і z_j .

Для оцінки ймовірності конфлікту скористаємося методом, викладеним у праці [4].

Отримані статистичні характеристики процесу відносного положення літаків (10), (11) дозволяють подати для фіксованого моменту часу вектор відносного положення як випадкову багатовимірну величину

$$\bar{D} = \bar{M}_d + D_s \bar{\gamma},$$

де $D_s = \sqrt{P_d}$ – позитивно визначена матриця; $\bar{\gamma}$ – вектор випадкових величин з нульовими математичними сподіваннями й одиничними дисперсіями, що має нормальний розподіл $N(0, I_2)$; I_2 – одинична матриця розміру 2×2 .

Метод оцінки ймовірності конфлікту полягає в наступному: знаходимо власні вектори \bar{e}_1, \bar{e}_2 матриці D_s , проводимо розкладання вектора математичних сподівань \bar{M}_d і матриці D_s за цим базисом [4]. У результаті одержуємо

$$\bar{M}_d = q_1 \bar{e}_1 + q_2 \bar{e}_2; D_s \bar{\gamma} = [\lambda_1 \gamma_1 \ \lambda_2 \gamma_2]^T,$$

де q_i виражається через скалярний добуток $q_i = (\bar{M}_d, \bar{e}_i)$, $i = \overline{1,2}$, λ_1, λ_2 – власні значення матриці D_s .

Матриця коваріацій P_d (9) набуває діагонального вигляду $\text{diag}[\lambda_1^2, \lambda_2^2]$. При цьому випадковий вектор відстані між літаками в базисі (\bar{e}_1, \bar{e}_2) має розподіл $N([q_1, q_2]^T, \text{diag}[\lambda_1^2, \lambda_2^2])$.

Після виконання операції ортогоналізації складові вектора відносного положення (позначимо їх x і y) стають незалежними, і оцінка ймовірності конфлікту, згідно з критерієм (1), може бути отримана з аналітичного виразу [4]:

$$P_c = \int_{-d_{\min}}^{d_{\min}} \left(\frac{1}{\lambda_2 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(y-q_2)^2}{2\lambda_2^2}} \frac{1}{\lambda_1 \sqrt{2\pi}} \int_{-\sqrt{d_{\min}^2 - y^2}}^{\sqrt{d_{\min}^2 - y^2}} e^{-\frac{(x-q_1)^2}{2\lambda_1^2}} dx \right) dy =$$

$$= \frac{1}{\lambda_2 \sqrt{2\pi}} \int_{-d_{\min}}^{d_{\min}} \left(e^{-\frac{(y-q_2)^2}{2\lambda_2^2}} \left(\Phi \left(\frac{\sqrt{d_{\min}^2 - y^2} - q_1}{\lambda_1} \right) - \Phi \left(\frac{-\sqrt{d_{\min}^2 - y^2} - q_1}{\lambda_1} \right) \right) \right) dy,$$

$$\text{де } \Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{z^2}{2}} dz.$$

Використання кореляційних залежностей

Для практичного застосування запропонованого методу оцінки ймовірності конфлікту необхідно конкретизувати математичні моделі, що описують відхилення від програмної траєкторії.

У самому загальному випадку може бути застосована гіпотеза, що відхилення від заданої швидкості польоту мають кореляційну функцію

$$K_v(\tau) = \sigma_v^2 e^{-\alpha|\tau|},$$

де σ_v^2 – дисперсія відхилення; α – коефіцієнт, що визначає ступінь кореляції в часі.

Цій кореляційній функції відповідає диференціальне рівняння

$$\frac{dv}{dt} = -\alpha v + \sigma_v \sqrt{2\alpha} w,$$

де w – гауссівський випадковий процес типу “білий шум” з одиничною інтенсивністю.

Сам процес відхилення по кожній координаті (наприклад, координаті s) у векторно-матричному вигляді (3) записується як

$$\begin{bmatrix} \dot{s} \\ \dot{v} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s \\ v \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \sigma_v \sqrt{2\alpha} \end{bmatrix} w.$$

Однак така модель не враховує характерні риси керованого руху літака.

Для системи управління повітряним рухом, і літаководінням важливе значення має керування бічним рухом літака, що дозволяє витримувати заданий напрямок польоту.

Для опису процесу відхилення у бічному напрямку може бути використана кореляційна функція [5]

$$K_z(\tau) = \sigma_z^2 e^{-\alpha|\tau|} \left(\cos \omega_0 \tau + \frac{\alpha}{\omega_0} \sin \omega_0 |\tau| \right), \quad (12)$$

якій відповідає рівняння в просторі станів:

$$\begin{bmatrix} \dot{z} \\ \ddot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -(\omega_0^2 + \alpha^2) & -2\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z \\ \dot{z} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ g_2 \end{bmatrix} w,$$

де $g_2 = 2\sigma_z \sqrt{\alpha(\omega_0^2 + \alpha^2)}$.

Особливістю керованого подовжнього руху літака є те, що, на відміну від бічного руху, керування здійснюється не за положенням літака, а за його швидкістю польоту.

Для опису подовжнього руху може бути використана кореляційна функція процесу відхилення від заданої швидкості польоту [5]:

$$K_V(\tau) = \sigma_V^2 e^{-\alpha|\tau|} \cos \omega_0 \tau.$$

При цьому опис у просторі станів має вигляд

$$\begin{bmatrix} \dot{s} \\ \ddot{s} \\ \dot{s}' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -(\omega_0^2 + \alpha^2) & -2\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s \\ \dot{s} \\ s' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ g_4 \\ g_5 \end{bmatrix} w,$$

де s' – допоміжна змінна $s' = \dot{s} - g_4 w$;

$$g_4 = -\sigma_V \sqrt{2\alpha}; \quad g_5 = \sigma_V \sqrt{2\alpha} \left(2\alpha - \sqrt{\omega_0^2 + \alpha^2} \right).$$

У разі горизонтального польоту задача полягає у витримуванні заданої висоти. Процес відхилення від стабілізованої висоти може бути поданий такою самою кореляційною функцією, що й у бічному русі (12).

Таким чином, маючи кореляційні функції відхилення від заданих параметрів траєкторії і за умови факторизації відповідних функцій спектральної щільності, задача оцінки ймовірності конфлікту приводиться до розглянутої схеми розв'язку. Відзначимо, що запропонований метод дає можливість вирішувати задачу, синтезуючи модель руху (2) з урахуванням законів траєкторного керування, навігаційних похибок і збурень.

Висновки

Запропонований метод оцінки ймовірності конфліктної ситуації дає вирішення задачі з урахуванням динамічних властивостей руху літаків і кореляції траєкторії польоту в часі, що дозволяє підвищити адекватність моделі розвитку повітряної обстановки, тим самим поліпшити надійність прийняття рішень при вирішенні задачі виявлення і попередження конфліктних ситуацій.

Постановку задачі наведено в загальному вигляді і показано її аналітичний розв'язок на конкретному прикладі.

Переваги запропонованого підходу скоріше виявляються при короткостроковому прогнозі на час до 10 хв, оскільки на більший час кореляційний зв'язок параметрів траєкторії істотно слабшає. Наявність у моделі процесу польоту динаміки руху дає можливість синтезувати моделі інформації про навігацію і закони траєкторного керування, врахувати чотирирівимірну навігацію.

Список літератури

1. Paielli R.A., Erzberger H. Conflict probability estimation for free flight // Journal of guidance, control and dynamics. – 1997. – 20(3). – P. 588–596.
2. Accident risk assessment for advanced ATM/ H.A.P. Blom, G.J. Bakker, P.J.G. Blanker, a. o. // Air transportation systems engineering, G.L. Donohue and A.G. Zellweger (Eds.), AIAA. – 2001. – P. 463–480.
3. A stochastic conflict detection model revisited / K. Blin, M. Akian, F. Bonnans, a.o. // AIAA Guidance, Navigation and control conference. – Denver, CO. – 2000. – Aug.
4. Васильєв В.М. Методи прогнозування й оцінки ймовірності конфліктів при польоті літаків на маршрутах // Вісн. НАУ. – 2004. – №2. – С. 24–29.
5. Унгуриян С.Г., Маркович Е.Д., Волевач А.И. Анализ и моделирование систем управления воздушным движением. – М.: Транспорт, 1980. – 205 с.

Стаття надійшла до редакції 16.09.04

В.Н. Васильєв

Оценка вероятности конфликта с учетом динамики и корреляции процесса полета самолетов

Предложен вероятностный метод обнаружения конфликта для систем предупреждения столкновений самолетов, позволяющий учитывать особенности стохастической динамики процесса полета и корреляцию траектории полета во времени. Рассмотрен общий подход к решению задачи оценки вероятности конфликта и показано ее аналитическое решение на конкретном примере.

V.M. Vasylyev

Conflict probability evaluation taking into account the dynamics and correlation of aircraft flight process

The probability method of conflict detection for collision avoidance systems is offered enabling to take into account the features of stochastic dynamics of aircraft flight process and correlation of a trajectory with time. The general approach to a solution of a problem is presented and the analytical solution on a concrete example is demonstrated.